한국마린엔지니어링학회지 제34권 제8호, pp. 1074~1083, 2010. 11 (ISSN 1226-9549)
Journal of the Korean Society of Marine Engineering

배플을 적용한 Cargo용 연료탱크 내부의 슬로싱 저감 연구

윤보현[1] · 윤준규[1] · 임종한†

(원고접수일 : 2010년 6월 28일, 원고수정일 : 2010년 9월 1일, 심사완료일 : 2010년 10월 22일)

A Study on the Sloshing Reduction of a Cargo Fuel Tank with Baffle

Bo-Hyun Yoon[1] · Jun-Kyu Yoon[1] · Jong-Han Lim†

요 약 : 최근 자동차, 선박, 항공기의 운행시 외력에 의해 연료탱크 내의 유체가 출렁거리는 슬로싱 현상으로 인하여 구조물 내부가 손상되어 큰 영향을 미치고 있다. 따라서 적재연료의 슬로싱 영향을 최소화하기 위해서 전산유체역학적으로 유체의 거동을 정확히 해석하는데 무엇보다 중요하다. 본 연구에서는 ADINA-CFD를 이용하여 Kia 프론티어 Cargo용 연료탱크에 수직배플과 수평배플의 길이 및 개수에 따른 유체유량 및 압력의 특성을 파악하고, 코너 및 언덕 주행시 슬로싱 감소를 위해 해석하였다. 그 결과로 슬로싱 감소효과를 위해 배플의 최적길이는 수직배플의 경우 0.19 m, 수평배플의 경우 0.08 m로 나타났다. 그리고 자동차주행 경우에 코너주행 시는 수직배플이 수평배플보다 슬로싱 감소효과를 보이는 반면에, 언덕주행 시는 수평배플이 효과적이며 안정성을 나타내었다.

주제어 : 배플, 슬로싱 저감, 유체유량, 전산유체역학

Abstract: Recently sloshing that fluid in fuel tank is undulating by the external force during motion of automobile, ship and aircraft is greatly affecting by damaging the inside of structure. It's most important to precisely analyze the behavior of fluid by computational fluid dynamics for minimizing the effect of sloshing for the loaded fuel. This study characterized volume of fluid and pressure according to the length and number of vertical baffle and horizontal baffle in fuel tank for Kia Frontier cargo and analyzed for reduction of sloshing during driving on corner and hill by using ADINA-CFD. As a result of analysis, the optimum length for sloshing reduction shows 0.19 m for vertical baffle and 0.08 m for horizontal baffle. And it shows that vertical baffle is better for the reduction effect of sloshing during driving on corners, on the other hand, horizontal baffle is effective and stable during driving on hills.

Key words: Baffle, Sloshing reduction, VOF (volume of fluid), CFD (computational fluid dynamics)

1. 서 론

최근 자동차, 선박 및 항공기 등의 기술개발 추세로 고성능, 저연비뿐 만아니라 소비자들에게 가장 민감한 반응을 보이는 것이 소음 및 진동으로서 이에 대한 여러 가지의 저감대책을 위해 연구가 활발히 진행되고 있다. 이 중에서 외력으로 인해 연료탱크 내의 유체가 출렁거리는 슬로싱 현상은 탱크 내의 자유표면을 갖는 유체의 비선형거동으로 탱크 내의 구조물에 동적 하중을 발생시키며, 심한 경우 탱크벽면의 파손 또는 운반체의 조종성을 상실하는 심각한 원인이 될 수 있다. 따라서 슬로싱 거동에 대한 정확한 예측을 통하여 이를 감소시킬

† 교신저자(경원대학교 기계·자동차공학과, E-mail:kkjong@kyungwon.ac.kr, Tel: 031-750-5650)
1 경원대학교 기계·자동차공학과

수 있는 방안연구가 절실히 필요하다.

이에 대한 연구동향으로서 Nakayama 등[1,2]는 경계요소법을 이용하여 2차원 4각형 연료탱크 내의 대변형 슬로싱 문제를 해석하였으며, Greaves 등[3]은 유한요소법 및 유한차분법을 이용하여 대변형 슬로싱을 효과적으로 해석하였고, Chen 등[4]은 유한차분법을 이용하여 2차원 4각형 탱크 내에서 대변형 슬로싱을 효과적으로 해석하였으며, Silveira 등[5]은 배플의 깊이가 주어졌을 때 배플 폭의 변화에 따른 감쇠비와 진동수의 변화에 대하여 실험을 수행하였다. 그리고 국내에서는 Yang 등[6]은 구형용기를 이용한 자유진동실험과 강제진동실험을 통하여 액체 슬로싱 감쇠특성을 실험적으로 연구하여 실제로 간단한 형태의 슬로싱 감쇠기를 평면연삭기에 응용하여 감쇠기의 성능특성을 조사하였고, Lee와 Cho[7]은 격막설치에 따른 2차원 사각탱크 내에서 비선형 유체 슬로싱에 대한 격막의 영향을 평가하여 자유표면운동, 동압분포 등의 슬로싱 특성을 고찰하였다. 그 외에도 유체의 슬로싱 현상을 억제하기 위한 방안으로 여러 가지 배플을 선정하여 형상, 설치 높이 및 개구폭 등의 설계인자를 고려한 슬로싱 저감연구가 지속적으로 진행되어 적용가능성을 보여주고 있다[8-13].

본 연구에서는 ADINA-CFD를 이용하여 Kia 프론티어 Cargo용 연료탱크에 수직배플과 수평배플을 적용하여 유체유량 및 압력의 특성을 파악하고, 코너 및 언덕 주행시 슬로싱 감소효과를 고찰하였다.

2. 연구방법

2.1 연료탱크의 모델링

슬로싱 해석을 하기 위해서는 유체의 유동을 지배하는 기본방정식에 대한 이해가 중요하다. 여기서 기본방정식은 물리적인 기본법칙을 이용하여 압력, 밀도, 속도와 온도를 미지수로 하는 미분방정식이며, 이 때 가장 중요한 방정식은 Navier-Stokes 방정식과 이 방정식의 비점성 극한 방정식인 Euler 방정식이 있다.

이들 방정식에 1차원 또는 2차원 문제에 대한 제한적인 해의 존재성 및 해의 성질들에 대해서는 일부 밝혀져 있지만, 3차원에서의 이들 해의 존재성 및 해석결과는 그리 많지 않으나 3차원 Navier-Stokes 방정식을 통해서 연료탱크의 슬로싱 현상에 의한 복잡한 유동장을 $k-\epsilon$모델을 적용하여 해석할 수 있다.

Figure 1은 ADINA-CFD를 이용하여 연료탱크를 모델링한 것으로 연료탱크의 체적은 61.57ℓ로 설정하였으며, Kia 프론티어 Cargo용 연료탱크 용량 60ℓ와 비슷한 모델링으로 약 2.62%의 오차가 있으며 일반적으로 탱크의 용량이 공칭용량보다 10%이상 여유 공간을 두기 때문에 모델링한 연료탱크는 이상이 없을 것으로 사료된다.

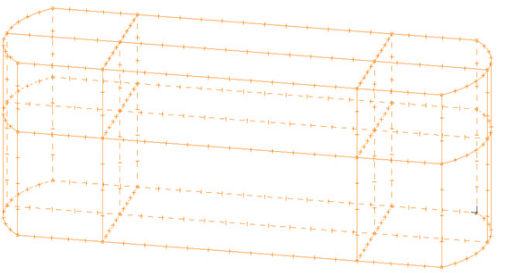


Figure 1: Modeling of fuel tank

2.2 해석조건

슬로싱 감소해석을 위한 연료탱크의 제원과 해석조건을 Table 1에서 나타내었으며, 특정조건을 고정값으로 주어 해석의 오차를 줄이도록 하였다.

Figure 2는 해석시 주어진 자동차의 주행력을 시간에 대한 함수로 나타낸 것이다. 정지~0.11초 구간에서는 0 N에서 0.03 N까지 일정하게 증가하고, 0.11초~0.5초 구간에서는 0.03 N에서 1.04 N까지 일정하게 증가하도록 하였다. 여기서 기울기는 0~0.11초 구간에서 0.273이고, 0.11초~0.5초 구간에서는 2.6이다. 즉 0~0.11초 구간보다 0.11~0.5초 구간이 약 10배 이상의 빠른 속도로 주행을 하게 된다.

여기서는 정지해 있는 자동차가 갑자기 빠른 속도를 낼 수 없으므로 위와 같은 가속도 구간을 설정하였다. 일반적으로 슬로싱 현상이 가장 심하게 나타나는 구간은 속도의 변화가 심한 구간에서 나

Table 1: specification of fuel tank and analysis

Item			Specification
Volume	Fuel		36.94 ℓ
	Air		24.63 ℓ
	Fuel tank		61.57 ℓ
Physical properties	Air	density	1.205 kg/m^3
		viscosity	1.8×10^{-5} kg/m·s
	Fuel	density	834.9 kg/m^3
		viscosity	0.002 kg/m·s
Thickness of baffle			0.01 m
Driving velocity			Rapid accel. after 0.11 sec
Running time			0.5 sec

타난다. 따라서 정지해 있는 자동차가 출발 할 때나 달리던 자동차가 급정지를 할 때 가장 심하게 일어난다. 상황은 다르지만 속도의 변화에 의해서 나타나는 슬로싱 현상은 같은 형태를 나타남으로 정지상태에서 출발하는 현상에 대해서만 해석하였다.

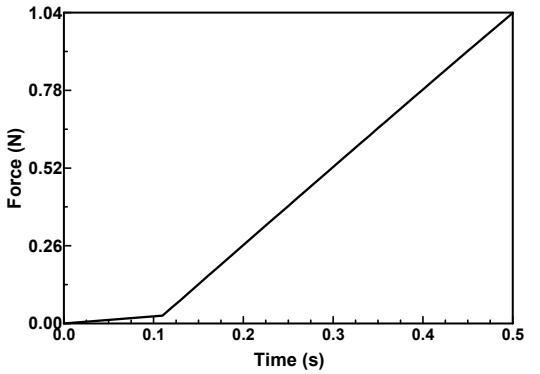


Figure 2: The curve of force according to time

Table 2: Changed conditions of baffle

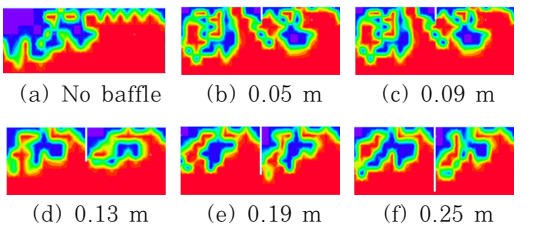
Item	Range
Vertical baffle	0.05 ~ 0.25 m (range of 0.02 m)
Horizontal baffle	0.06 ~ 0.36 m (range of 0.02 m)

Table 2는 배플 설치를 위한 조건을 나타낸 것으로 배플의 종류는 수직배플과 수평배플로 구분하였고, 두께는 0.01 m로 고정하였으며, 길이는 0.02 m씩 변화시켜 가장 이상적인 길이를 찾도록 해석을 하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 수직배플의 영향

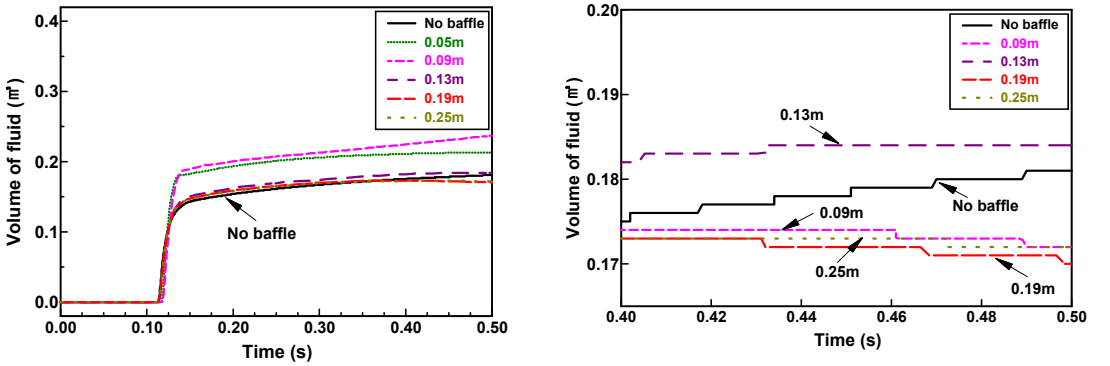
수직배플은 편의상 연료탱크의 상단 중앙에 설치하여 해석하였다. Figure 3은 배플이 없는 경우와 수직배플을 0.02 m 씩 변화를 주어 부착하였을 때 연료탱크를 Y축 단면을 중앙으로 하고, 주행시간 0.5초에서 3차원으로 해석한 결과를 나타낸 것이다. 그 결과로 배플이 없는 경우는 주행시간에 액체가 탱크의 천정까지 솟구치는 충격파를 수반하는 비선형 슬로싱 현상이 발생한다는 것을 알 수 있었고, 또한 배플의 길이가 변화함에 따라 슬로싱 현상이 조금씩 다르게 나타남을 알 수 있다. 보통 수직배플은 많은 량의 유체가 한꺼번에 이동하는 것을 둘로 나누어 슬로싱에 의한 피해를 감소시키는 목적으로 활용한다. Figure 4와 Figure 5는 연료탱크 중앙부분의 우측 상단격자를 기 준점으로 하여 유체유량(VOF)과 압력의 특성을 시간에 따라 나타낸 결과이다. Figure 4(a)의 결과로 대체로 배플의 길이가 길어질수록 VOF의 변화량이 작아지는 경향을 보이나, 좀 더 세밀한 분석을 위해 주행조건 0.4~0.5초 구간만 확대한 Figure 4(b)의 결과를 볼 때 어떤 특정길이 범위(0.09~0.13 m)에서는 다시 커지는 현상이 나타내었다. 이 결과를 통해 VOF의 변화폭은 배플의 길이가 길다고 해서 좋은 것은 아니라는 점을 알았다. 결론적으로 Figure 3과 Figure 4의 결과를 볼 때 VOF의 변화량이 가



(a) No baffle (b) 0.05 m (c) 0.09 m

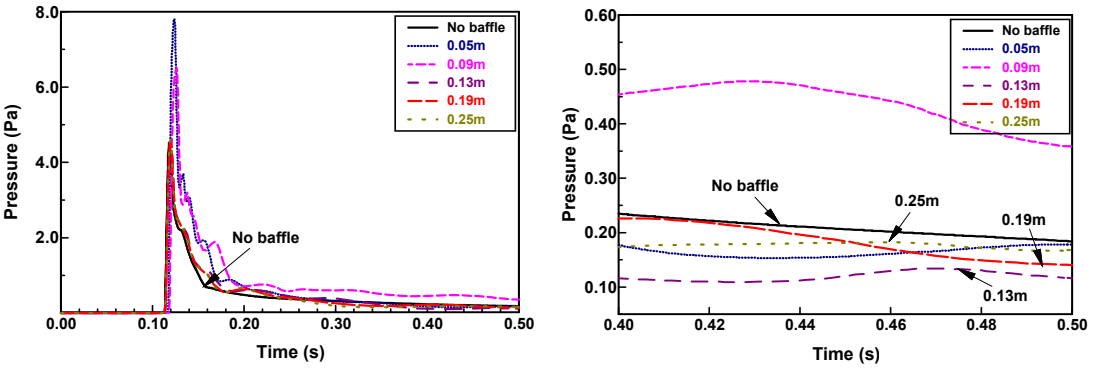
(d) 0.13 m (e) 0.19 m (f) 0.25 m

Figure 3: Simulation result with vertical baffle



(a) VOF graph (b) Expanded V.O.F. graph

Figure 4: Variations of volume for vertical baffle



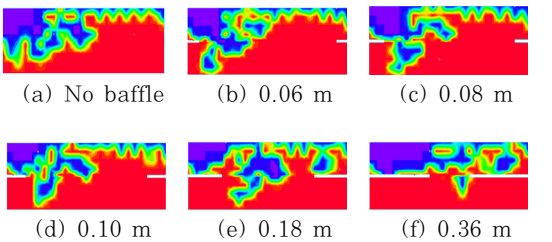
(a) Pressure graph (b) Expanded pressure graph

Figure 5: Variations of pressure for vertical baffle

장 작은 것은 배플의 길이가 0.19 m의 경우가 가장 최적임을 나타내었다. 또한 Figure 5(a)의 결과로 배플의 길이가 가장 짧은 0.05 m 경우가 압력이 가장 크게 나타났고, 배플의 길이가 0.13 m 이상의 경우는 배플이 없는 경우와 거의 비슷한 경향을 나타내었다. 그리고 Figure 5(b)와 같이 그림을 확대하여 보면 배플의 길이가 0.13 m와 0.19 m의 경우가 압력이 낮아짐을 알 수 있었다.

3.2 수평배플의 영향

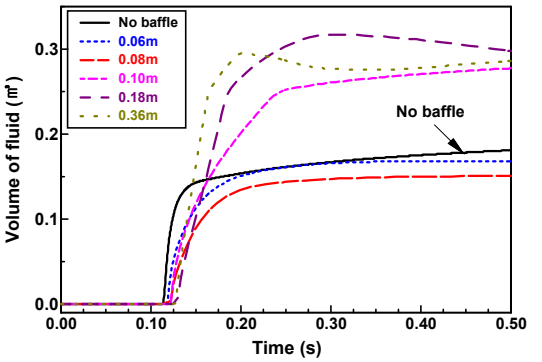
수평배플은 연료탱크의 좌우 양 끝에 배플을 설치 하여 해석하였다. Figure 6과 Figure 7은 수평배플을 0.02 m씩 변화를 주었을 때 해석한 결과를 나타낸 것이다. 그 결과로 수평배플은 0.08 m 이상의 길이가 되면 VOF의 변화량이 늘어나고 기울기의 변화도 커지게 된다. 수평배플은 수직배플에 비해 압력이 낮았지만 배플의 길이가 길어질수록 잔압이 유지되는 시간이 길어짐을 알 수 있었고, 결과적으로 배플길



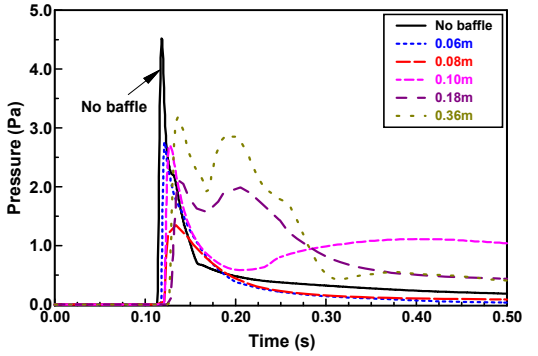
(a) No baffle (b) 0.06 m (c) 0.08 m

(d) 0.10 m (e) 0.18 m (f) 0.36 m

Figure 6: Simulation result with horizontal baffle



(a) VOF graph



(b) Pressure graph

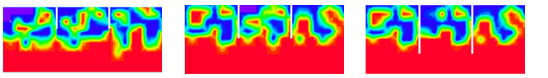
Figure 7: Variations of volume and pressure for horizontal baffle

이는 0.08 m인 경우가 가장 안정하게 나타내었다. 본 결과는 Kwack과 Ko[11]가 연구했던 최적길이에서 슬로싱 감소를 보여준 내용과 거의 일치함을 보여줘 신뢰할 수가 있었다.

3.3 배플의 수량 및 위치에 따른 영향

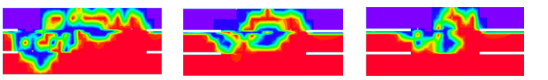
Figure 8과 Figure 9는 수직배플과 수평배플의 수량 및 위치에 따라 해석한 결과를 나타내었다. 배플의 길이에 따른 변화는 앞에서 고찰한 바와 같이 배플수 의 증가에도 유사한 특성을 나타냈기 때문에 대표 값만 선정하여 비교하였다. 여기서 임의로 수직배플은 0.09 m, 0.13 m, 0.19 m를 대표길이로 선정하였고, 수평배플은 0.08 m, 0.20 m, 0.24 m를 대표길이로 선정하였다.

그 결과로 Figure 8과 Figure 9에서 나타난 바와 같이 수평배플의 경우가 수직배플의 경우보다 슬로싱현상이 현저히 감소됨을 알 수 있었다. 따라서 본 해석시 최적길이를 기본 배플에서 가장 양호한 수직배플인 경우에서 0.19 m, 수평배플인 경우



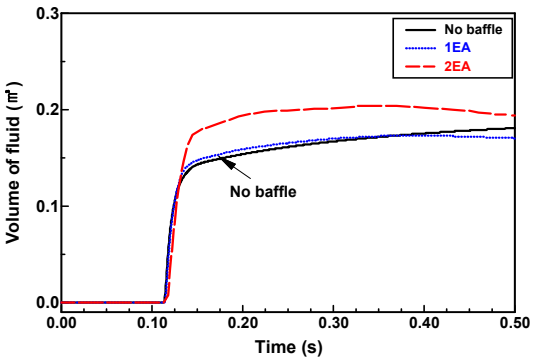
(a) 0.09 m (b) 0.13 m (c) 0.19 m

Figure 8: Analysis of vertical baffle with 2 pieces

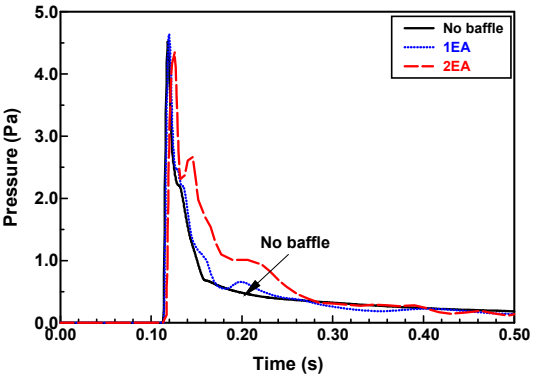


(a) 0.08 m (b) 0.20 m (c) 0.24 m

Figure 9: Analysis of horizontal baffle with 4 pieces



(a) VOF graph



(b) Pressure graph

Figure 10: Variations of volume and pressure according to vertical baffle number

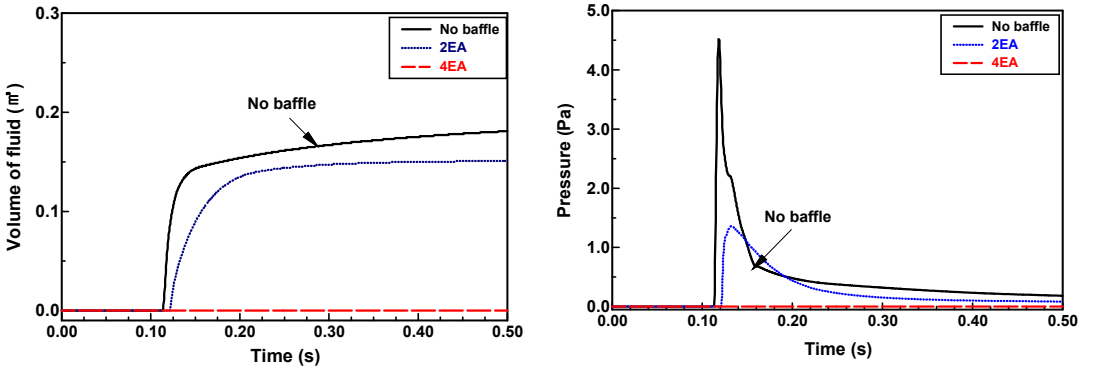
에서 0.08 m로 선정하여 배플의 수를 증대하여 다음과 같이 해석하여 비교하였다.

3.3.1 수직배플의 영향

Figure 10은 배플의 길이를 0.19 m로 하여 수직배플의 개수를 1개와 2개를 적용했을 때 비교한 결과를 나타낸 것이다. 배플의 개수를 증가할 때 시간 경과후 오히려 VOF의 변화는 더욱더 커지고, 잔압도 역시 높아지는 경향을 나타내고 있음을 알 수 있었다. 그러나 배플의 개수가 증가함에 따라 좋지 않은 결과를 나타날 수 있으나 어느 시간 경과 후, 즉 가속도 구간이후에는 빠른 압력감소로 수평을 유지함으로써 슬로싱 저감에 대한 안정성을 확보할 수 있을 것으로 사료된다.

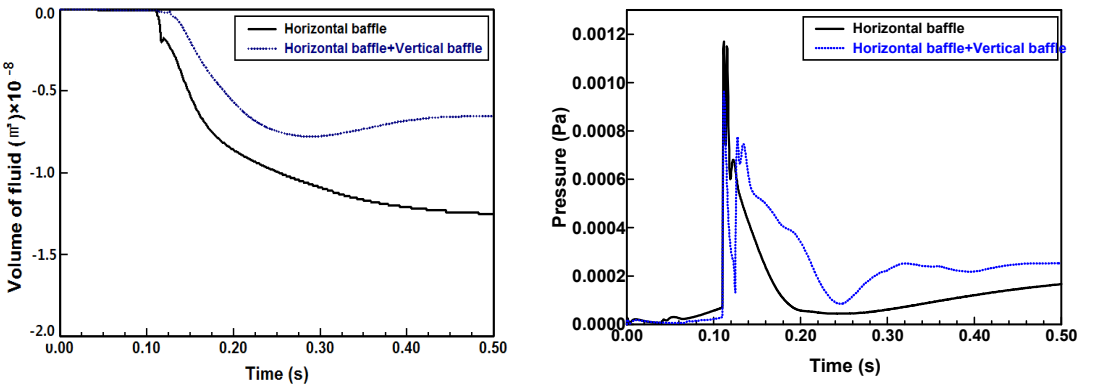
3.3.2 수평배플의 영향

Figure 11는 배플의 길이를 0.08 m로 하여 수평배플의 개수를 2개와 4개를 적용했을 때 비교한 결과를 나타낸 것이다. 그 결과로 수평배플의 경우가 수직배플의 경우와 비교했을 때 상당한 큰 폭으로 감소됨을 알 수 있었다. 특히 배플의 개수를 증가한 4개로 했을 때는 거의 VOF와 압력의 변화는 거의 없음을 나타내었다. 따라서 수평배플의 경우가 수직배플의 경우보다 훨씬 효과적임을 알 수 있었다.



(a) VOF graph (b) Pressure graph

Figure 11: Variations of volume and pressure according to horizontal baffle number



(a) VOF graph (b) Pressure graph

Figure 12: Variations of volume and pressure according to baffle location

3.3.3 조합한 배플의 영향

좀 더 정확한 결과를 알아보기 위하여 수평배플과 수직배플을 조합한 결과를 Figure 12에 나타내었다. 그 결과로 조합한 배플의 경우가 수평배플의 경우보다 VOF 및 압력의 변화를 볼 때 오히려 비효과적임을 알 수 있어 수평배플 적용만으로 슬로싱 현상을 줄이는데 좋을 것으로 사료된다.

3.4 주행방향의 영향

3.4.1 코너주행의 영향

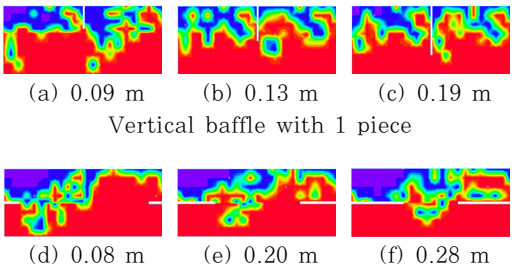


Figure 13: Analysis of XY direction with vertical and horizontal baffle

Figure 13은 수직배플 1개와 수평배플 2개를 적용한 기본 배플의 경우에서 자동차가 코너주행 시에 XY방향에 따른 영향을 나타낸 것이다. 그 결과로 코너주행 시에는 배플의 영향은 거의 없는 것으로 나타났다.

수평배플은 연료탱크가 직진운동을 할 때 배플이 유동의 위아래로 움직이는 것을 차단하는 기능이 더 크지만 연료탱크가 코너주행을 하는 경우에는 배플이 위 아래로 움직이는 유동을 차단하는 기능은 작고, 그림처럼 유동의 움직임을 도와주기도 하고 그 반대로 역으로 내려오는 유동을 다시 위로 올리기도 하여 전체적으로 슬로싱을 크게 한다. 이에 반하여 수직배플은 조금 더 안정적인 경향을 나타내고 있다. 따라서 코너주행 시에는 수직배플이 수평배플보다 슬로싱 감소를 줄이는데 더 효과적이라 할 수 있었다.

Figure 14와 Figure 15는 배플의 수량을 2배로 증가시킨 수직배플 2개와 수평배플 4개를 적용

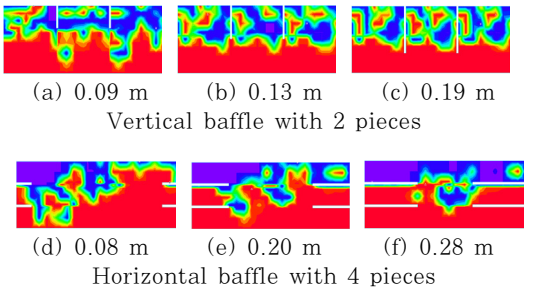


Figure 14: Analysis of XY direction according to vertical and horizontal baffle

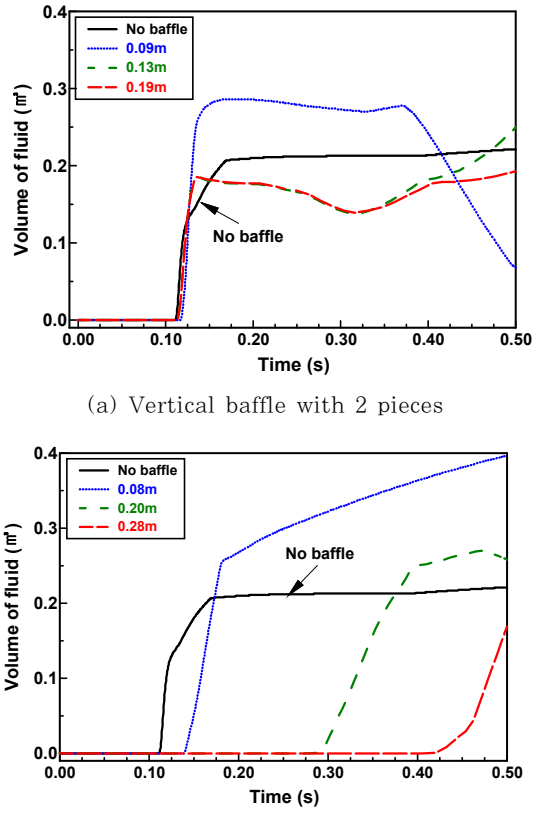


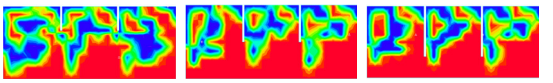
Figure 15: Variations of volume according to vertical and horizontal baffle

한 경우에서 자동차가 코너주행 시에 XY방향에 따른 해석결과를 나타내었다. 그 결과로 기본 배플을 적용한 경우보다 큰 차이를 보인다. 특히 수직배플

2개를 적용한 경우는 VOF의 변화를 감소시키는데 효과적이었으며, 수평배플 4개를 적용한 경우는 VOF의 발생을 지연시키는데 효과적이었다.

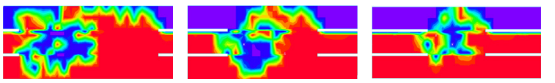
3.4.2 언덕주행의 영향

Figure 16과 Figure 17은 배플의 수량을 2배로 증가시킨 수직배플 2개와 수평배플 4개를 적용한 경우에서 자동차가 언덕 경사각 30°주행 시에 XZ방향 따른 해석결과를 나타내었다.



(a) 0.09 m (b) 0.13 m (c) 0.19 m

Vertical baffle with 2 pieces



(d) 0.08 m (e) 0.20 m (f) 0.28 m

Horizontal baffle with 4 pieces

Figure 16: Analysis of XZ direction with vertical and horizontal baffle

그 결과로 Figure 17(a)의 수직배플은 VOF의 발생지연과 가속도에 의한 기울기 변화에서 약간의 차이는 나타났지만, Figure 17(b)의 수평배플는 VOF의 변화가 모두 0에 가까운 값을 나타내었다. 따라서 수직배플은 배플이 없을 경우와 비교했을 때 다소 약간의 차이가 나타났지만, 수평배플은 VOF의 발생을 지연시키는 효과가 있어 가속도에 의한 안정성을 확보할 수 있어 수직배플보다 더 좋은 특성을 나타내었다.

4. 결 론

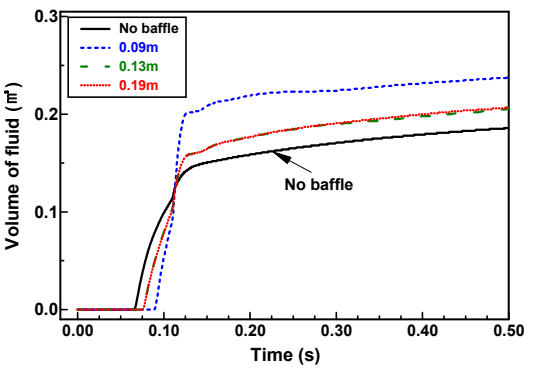
본 연구는 수직배플과 수평배플을 적용하여 배플의 수량 및 위치에 따라 연료탱크의 슬로싱 저감 특성을 해석하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

(1) 수직배플과 수평배플의 길이를 각각 0.02 m씩 증가시켜가며 해석을 한 결과로 수직배플의 최적길이는 0.19 m이고, 수평배플의 최적길이는 0.08 m로 나타났다.

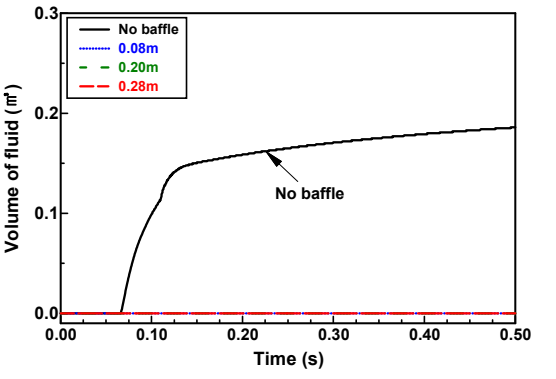
(2) 수직배플은 자유표면의 유동이 좌우로 흐르는 것을 방지하여 배플이 없는 경우에 비해 작은 유속을 갖게 하지만, 배플의 길이가 자유표면 근처까지 커지기 전에는 배플의 효과가 거의 없었다.

(3) 수평배플은 배플이 수면 근처에 있을 경우에 슬로싱 감소효과는 우수하지만, 수면 아래로 내려 갈수록 슬로싱 현상이 급격히 감소함을 나타난다.

(4) 코너 주행 시 기본 배플만 적용했을 때 수평배플보다 수직배플이 더욱 효과적이었으며, 배플의 수량을 증가시킬 경우 수직배플은 VOF의 변화를 감소시키는데 효과가 있었으며, 수평배플은 VOF의 발생을 지연시킬 수 있어 아주 효과적으로 나타났다.



(a) Vertical baffle with 2 pieces



(b) Horizontal baffle with 4 pieces

Figure 17: Variations of volume with according to vertical and horizontal baffle

(5) 언덕주행 시 수직배플은 VOF의 발생지연과 가속도에 의한 기울기 변화에서 약간의 차이는 나타났지만, 수평배플는 VOF의 변화가 모두 0에 가까워 안정성을 확보할 수 있었다.

후 기

이 연구는 2010년도 경원대학교 지원에 의한 결과임.

참고문헌

[1] T. Nakayama and K. Washizu, "The boundary element methods applied to the analysis of two-dimensional nonlinear sloshing problems," International Journal for Numerical Methods in Engineering, vol. 175, pp. 1631-1646, 1981.

[2] Z. Liu and Y. Huang, "A new method for large amplitude sloshing analysis problems," Journal Sound and Vibration, vol. 175, no. 2, pp. 185-195, 1994.

[3] D. M. Greaves, A. G. Borthwick, G. X. Wu and R. E. Taylor, "A moving boundary finite element method for fully nonlinear wave simulations," Journal of Ship Research, vol. 41, no. 3, pp. 181-194, 1997.

[4] W. Chen, M. A. Haroun and F. Liu, "Large amplitude sloshing in seismically excited tanks," Earthquake Engineering and Structural Dynamics, vol. 25, pp. 653-669, 1996.

[5] N. A. Silveira, D. G. Stephens and H. W. Leonard, "An experimental investigation of the damping of liquid oscillations in cylindrical tanks with various baffles," NASA TND-715, Langley Research Center, 1961.

[5] B. S. Yang, S. K. Jun and W. C. Kim, "An experimental study on the damping characteristics of liquid sloshing," KSPE, vol. 8, no. 1, pp. 96-104, 1991.

[6] Y. S. Lee, H. S. Kim, J. H. Lee, Y. W. Kim and S. H. Ko, "A study on the reduction of the sloshing of storage tank using wing and diaphragm baffle," KSME A, vol. 27, no. 12, pp. 2039-2046, 2003.

[7] H. W. Lee and J. R Cho, "Characteristic analysis of nonlinear sloshing in baffled tank," KSME A, vol. 29. no. 11, pp. 1455-1462, 2005.

[8] K. H. Chae and Y. L. Kim, "The improvement of fuel sloshing noise," KSAE07-S0151, pp. 971-976, 2007.

[9] S. H. Park, J. S. Song, J. C. Lee, B. S. Ko and J. S. Kim, "Modeling and analysis of sloshing vibration and nosie at fuel tanks," KSAE98-380090, pp. 563-568, 1998.

[10] J. R. Shin, K. S. Choi and S. Y. Kang, "An analytic solution to sloshing natural periods for a prismatic liquid cargo tank with baffles', KSOE, vol. 19, no. 6, pp. 16-21, 2005.

[11] J. R. Cho, H. W. Lee, S. Y. Ha, S. Y. Park and W. Y. Lee, "Dynamic response analysis nonlinear sloshing in two dimensional rectangular tank using finite element method," Trans. of Computational Structural Engineering. vol. 16, no. 1, pp. 33-42, 2003.

[12] Y. K. Kwack and S. H. Ko, "Computational fluid dynamics study on two-dimensional sloshing in rectangular tank," KSME B, vol. 27, no. 8, pp. 1142-1149, 2003.

[13] 김광선, 최주열, 조대환, "장방형탱크 내부 슬

로싱 현상에 대한 PIV적용에 관한 연구," 해양환경안전학회춘계학술발표회, pp. 85-86, 2009.

저 자 소 개

윤보현(尹普鉉)

1983년생, 2010년 경원대학교 기계공학과(공학사), 관심분야: 열유체공학, 공기조화및냉동

윤준규(尹俊圭)

1957년생, 1981년 조선대학교 기계공학과 졸업(학사), 1987년 경희대학교 기계공학과 졸업(석사), 2001년 명지대학교 기계공학과 졸업(박사), 2007년~현재 경원대학교 기계·자동차공학과 교수, 관심분야: 열유체공학, 공기조화및냉동, 내연공학

임종한(林宗漢)

1957년생, 1981년 조선대학교 정밀기계공학과 졸업(학사), 1986년 경희대학교 기계공학과 졸업(석사), 1992년 경희대학교 기계공학과 졸업(박사), 2007년~현재 경원대학교 기계·자동차공학과 교수, 관심분야: 열유체공학, 공기조화및냉동, 내연공학